

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2002-202224
(P2002-202224A)

(43)公開日 平成14年 7月19日(2002.7.19)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	ターミナル(参考)
G 0 1 M 11/02		G 0 1 M 11/02	J 2 G 0 8 6
G 0 2 F 1/35	5 0 1	G 0 2 F 1/35	5 0 1 2 K 0 0 2

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 10 頁)

(21)出願番号 特願2001-623(P2001-623)

(22)出願日 平成13年 1月 5日(2001.1.5)

(71)出願人 000002130

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5番33号

(72)発明者 宮本 敏行

神奈川県横浜市栄区田谷町 1番地 住友電
気工業株式会社横浜製作所内

(72)発明者 角井 素貴

神奈川県横浜市栄区田谷町 1番地 住友電
気工業株式会社横浜製作所内

(74)代理人 100088155

弁理士 長谷川 芳樹 (外 3名)

Fターム(参考) 2G086 KK01

2K002 AA02 AB30 BA01 CA15 DA10

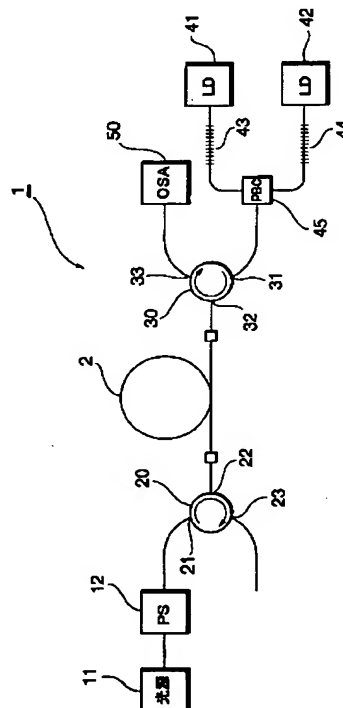
HA24

(54)【発明の名称】 ラマン利得係数測定方法

(57)【要約】

【課題】 被測定光ファイバのラマン利得係数を精度よく測定することができるラマン利得係数測定方法を提供する。

【解決手段】 このラマン利得係数測定方法は、被測定光ファイバ2の雑音指数を NF_{nel} とし、光スペクトラムアナライザ50の測定周波数を ν とし、測定分解能を $\Delta\nu$ とし、プランク定数を h としたときに、被測定光ファイバ2へ入射する試験光の光密度 P_{in} について $P_{in} > 100 \cdot NF_{nel} \cdot h \cdot \nu \cdot \Delta\nu$ なる条件を満たすようにし、且つ、被測定光ファイバ2のラマン利得のピーク値を G_{peak} とし、ラマン利得が等しくなる2波長(ただし、波長間隔が20nm以上30nm以下であって最大波長間隔のもの)の間における被測定光ファイバ2のラマン利得の偏差を ΔG としたときに、 $\Delta G / G_{peak} < 1.7\%$ なる条件を満たすようにして、被測定光ファイバ2のラマン利得係数を測定する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 ラマン増幅されるべき試験光を被測定光ファイバへ入射させて前記被測定光ファイバのラマン利得係数を測定する方法であって、

前記被測定光ファイバの雑音指数を NF_{net} とし、測定周波数を ν とし、測定分解能を $\Delta\nu$ とし、プランク定数を h としたときに、前記被測定光ファイバへ入射する前記試験光の光密度 P_{in} について $P_{in} > 100 \cdot NF_{net} \cdot h \cdot \nu \cdot \Delta\nu$ なる条件を満たすようにし、

前記被測定光ファイバのラマン利得のピーク値を G_{peak} とし、ラマン利得が等しくなる2波長（ただし、波長間隔が20 nm以上30 nm以下であって最大波長間隔のもの）の間における前記被測定光ファイバのラマン利得の偏差を ΔG としたときに、 $\Delta G / G_{peak} < 1.7\%$ なる条件を満たすようにして、

前記被測定光ファイバのラマン利得係数を測定することを特徴とするラマン利得係数測定方法。

【請求項2】 前記光密度 P_{in} について $P_{in} > -25 \text{ dBm/nm}$ なる関係式を満たすことを特徴とする請求項1記載のラマン利得係数測定方法。

【請求項3】 前記光密度 P_{in} について $P_{in} < -12.5 \text{ dBm/nm}$ なる関係式を満たすことを特徴とする請求項1記載のラマン利得係数測定方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、被測定光ファイバのラマン利得係数を測定する方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 光通信システムは、光ファイバ伝送路に信号光を伝搬させるものであり、高速・大容量の情報を送受信することができる。信号光は光ファイバ伝送路を伝搬する際に損失を被るが、光通信システムでは、中継器等において光増幅器により信号光を光増幅することで、長距離伝送を可能としている。信号光を光増幅する光増幅器として、Er元素が光導波領域に添加された光ファイバを光増幅媒体として用いたEr元素添加光ファイバ増幅器が既に実用化されている他、光ファイバにおけるラマン散乱現象を利用したラマン増幅器も検討されている。ラマン増幅器は、モジュール化されて中継器等に設けることができるだけでなく、中継区間に敷設された光ファイバ伝送路をラマン増幅用光ファイバとして用いることができることから、この光ファイバ伝送路の実効的損失を小さくすることができる。

【0003】 このようなラマン増幅器を実現する上では、ラマン増幅用光ファイバのラマン利得係数を測定することが重要である。例えば、特開平7-43248号公報には、光増幅器の利得および雑音指数を測定する方法が開示されている。この公報に開示された測定方法では、利得が存在する波長帯域において白色と見做し得る試験光を被測定光ファイバに入射させて、被測定光ファ

イバにおける利得および雑音指数を測定しようとしている。また、白色光源として、ハロゲンランプや、信号光を入力しないで自然放出光を放射している状態のEr元素添加光ファイバ増幅器が用いられている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、上記公報を含め従来の技術では以下のような問題点があることを本願発明者は見出した。すなわち、被測定光ファイバへ入射する試験光の光密度によっては、被測定光ファイバのラマン利得係数を精度よく測定することができない場合がある。つまり、被測定光ファイバへ入射する試験光の光密度が小さすぎる場合には、被測定光ファイバで発生した自然放出光が雑音となることから、被測定光ファイバのラマン利得係数を精度よく測定することができない。一方、被測定光ファイバへ入射する試験光の光密度が大きすぎる場合には、被測定光ファイバで増幅された試験光が新たな励起光となり、この新たな励起光に因りラマン利得スペクトルが影響を受けることから、やはり、被測定光ファイバのラマン利得係数を精度よく測定することができない。

【0005】 本発明は、上記の本願発明者の知見に基づいて上記問題点を解消する為になされたものであり、被測定光ファイバのラマン利得係数を精度よく測定することができるラマン利得係数測定方法を提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】 本発明に係るラマン利得係数測定方法は、ラマン増幅されるべき試験光を被測定光ファイバへ入射させて被測定光ファイバのラマン利得係数を測定する方法であって、(a) 被測定光ファイバの雑音指数を NF_{net} とし、測定周波数を ν とし、測定分解能を $\Delta\nu$ とし、プランク定数を h としたときに、被測定光ファイバへ入射する試験光の光密度 P_{in} について $P_{in} > 100 \cdot NF_{net} \cdot h \cdot \nu \cdot \Delta\nu$ なる条件を満たすようにし、(b) 被測定光ファイバのラマン利得のピーク値を G_{peak} とし、ラマン利得が等しくなる2波長（ただし、波長間隔が20 nm以上30 nm以下であって最大波長間隔のもの）の間における被測定光ファイバのラマン利得の偏差を ΔG としたときに、 $\Delta G / G_{peak} < 1.7\%$ なる条件を満たすようにして、被測定光ファイバのラマン利得係数を測定することを特徴とする。

【0007】 本発明によれば、上記(a)の条件を満たすことにより、被測定光ファイバで発生した自然放出光が雑音となることはなく、また、上記(b)の条件を満たすことにより、被測定光ファイバでラマン増幅された試験光が新たな励起光となることに基づくラマン利得スペクトルの影響を小さくすることができるので、被測定光ファイバのラマン利得係数を精度よく測定することができる。

【0008】 上記(a)の条件については、光密度 P_{in} に

ついて $P_{in} > -25 \text{ dBm/nm}$ なる関係式を満たすのが好適であり、また、上記(b)の条件については、光密度 P_{in} について $P_{in} < -12.5 \text{ dBm/nm}$ なる関係式を満たすのが好適である。なお、光密度とは、単位波長幅当たりの光パワーを意味しており、例えば dBm/nm なる単位で表記されるものである。

【0009】

【発明の実施の形態】以下、添付図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0010】図1は、本実施形態に係るラマン利得係数測定方法が好適に適用されるラマン利得係数測定システム1の構成図である。このラマン利得係数測定システム1は、被測定光ファイバ2のラマン利得係数を測定するためのものであって、白色光源11、偏波スクランブラ12、光サーキュレータ20、30、レーザダイオード41、42、ブラッグ型回折格子43、44、偏波合成器45および光スペクトラムアナライザ50を備えている。

【0011】白色光源11は、被測定光ファイバ2がラマン利得を有する波長帯域において白色と見做し得る試験光を出力するものであって、例えば、ハロゲンランプ、白色レーザダイオード、自然放出光を放射している状態のEr元素添加光ファイバ増幅器などが用いられる。また、Er元素添加光ファイバ増幅器としてCバンド用のものやLバンド用のものが用いられ得る。さらに、これらを組み合わせたものを白色光源11としてもよく、この場合には、所望の波長帯域で強度スペクトルが平坦な白色光を試験光として出力することができる。偏波スクランブラ12は、白色光源11から出力された試験光を無偏波状態として、この試験光を光サーキュレータ20の第1ポート21へ出力する。

【0012】光サーキュレータ20は、第1ポート21、第2ポート22および第3ポート23を有しており、第1ポート21に入力した光を第2ポート22から出力し、第2ポート22に入力した光を第3ポート23から出力する。同様に、光サーキュレータ30は、第1ポート31、第2ポート32および第3ポート33を有しており、第1ポート31に入力した光を第2ポート32から出力し、第2ポート32に入力した光を第3ポート33から出力する。

【0013】レーザダイオード41および42、ブラッグ型回折格子43および44、ならびに偏波合成器45は、被測定光ファイバ2へ供給すべき励起光を出力する

ものである。レーザダイオード41およびブラッグ型回折格子43は、レーザダイオード41における自然放出光スペクトルおよびブラッグ型回折格子43におけるブラッグ反射波長により定まる波長の直線偏光のレーザ光を出力する。同様に、レーザダイオード42およびブラッグ型回折格子44は、レーザダイオード42における自然放出光スペクトルおよびブラッグ型回折格子44におけるブラッグ反射波長により定まる波長の直線偏光のレーザ光を出力する。偏波合成器45は、ブラッグ型回折格子43および44それぞれから出力された直線偏光のレーザ光を偏波合成して、この偏波合成したものを励起光として光サーキュレータ30の第1ポート31へ出力する。

【0014】光スペクトラムアナライザ50は、光サーキュレータ30の第3ポート33より出力された光を入力し、この入力した光の強度スペクトルを測定する。

【0015】このラマン利得係数測定システム1では、光サーキュレータ30の第2ポート32より被測定光ファイバ2へ励起光が供給されるとともに、光サーキュレータ20の第2ポート22より被測定光ファイバ2へ試験光が入射する。被測定光ファイバ2に入射した試験光は、被測定光ファイバ2を伝搬する際にラマン増幅される。このラマン増幅された試験光は、光アイソレータ30を経て光スペクトラムアナライザ50に入力して、光スペクトラムアナライザ50により強度スペクトルが測定される。また、被測定光ファイバ2へ励起光が供給されていないときにも、被測定光ファイバ2を伝搬した試験光は、光アイソレータ30を経て光スペクトラムアナライザ50に入力して、光スペクトラムアナライザ50により強度スペクトルが測定される。そして、励起光が供給されているときに測定された強度スペクトルから、励起光が供給されていないときに測定された強度スペクトルを減算することで、被測定光ファイバ2のラマン利得スペクトルが求められる。

【0016】次に、このようなラマン利得係数測定システム1において被測定光ファイバ2へ入射する試験光の光密度 P_{in} の好適範囲について説明する。被測定光ファイバ2の正味のラマン利得を G_{net} とし、正味の雑音指数を NF_{net} とする。光スペクトラムアナライザ50における測定周波数を ν とし、測定周波数分解能を $\Delta\nu$ とし、測定波長を λ とし、測定波長分解能を $\Delta\lambda$ とする。また、プランク定数を h とし、真空中の光速を c とする。このとき、被測定光ファイバ2で発生する自然放出光の強度 P_{ASE} は、

【数1】

$$P_{ASE} = NF_{net} \cdot h \cdot \nu \cdot \Delta\nu \cdot G_{net} = NF_{net} \cdot h \cdot \frac{c}{\lambda^2} \cdot \Delta\lambda \cdot G_{net} \quad \dots(1)$$

なる式で表される。また、被測定光ファイバ2でラマン増幅されて出射される試験光の光密度 P_{out} は、

【数2】

$$P_{out} = G_{net} \cdot P_{in} \quad \dots(2)$$

なる式で表される。

【0017】被測定光ファイバ2で発生する自然放出光の強度 P_{ASE} と比べて、被測定光ファイバ2でラマン増幅されて出射される試験光の光密度 P_{out} が小さすぎる場合には、被測定光ファイバ2で発生した自然放出光が雑音となって、被測定光ファイバ2のラマン利得係数を精度よく測定することができない。しかし、被測定光ファイバ2で発生する自然放出光の強度 P_{ASE} に対して、被測定光ファイバ2でラマン増幅されて出射される試験光の光密度 P_{out} が十分に大きく、

【数3】

$$P_{out} > 100 \cdot P_{ASE} \quad \dots(3)$$

なる関係式を満たせば、被測定光ファイバ2で発生した自然放出光が雑音となることはなく、被測定光ファイバ2のラマン利得係数を精度よく測定することができる。

【0018】すなわち、上記(1)式～(3)式より、被測定光ファイバ2へ入射する試験光の光密度 P_{in} は、

【数4】

$$P_{in} > 100 \cdot NF_{net} \cdot h \cdot \nu \cdot \Delta \nu \quad \dots(4)$$

なる関係式を満たすのが好適である。例えば、被測定光ファイバ2の正味の雑音指数 NF_{net} を3 dBとし、光スペクトラムアナライザ50における測定波長 λ を1.57 μm とし、測定波長分解能を $\Delta \lambda$ を1 nmとすると、被測定光ファイバ2へ入射する試験光の光密度 P_{in} は、-25 dBm/nm以上となる。

【0019】一方、被測定光ファイバ2へ入射する試験光の光密度 P_{in} が大きすぎると、被測定光ファイバ2でラマン増幅された試験光が新たな励起光となり、この新たな励起光に因りラマン利得スペクトルが影響を受けることから、被測定光ファイバ2へ入射する試験光の光密度 P_{in} の上限も以下のようにして定める必要がある。以

$$P_{total} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P_{out}(\lambda) \cdot d\lambda = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} G_1(\lambda) \cdot P_{in}(\lambda) \cdot d\lambda \quad \dots(7)$$

なる式で表される。

【0022】この被測定光ファイバ2でラマン増幅された全光パワー P_{total} ($= P_{pump2}$)の試験光は波長 λ_{pump2} の新たな励起光となる。そして、この新たな励起光の波長 λ_{pump2} における被測定光ファイバ2の吸収損失を α_{pump2} とすると、この新たな励起光に基づく被測定光ファイバ2のラマン利得スペクトル $G_2(\lambda)$ は、

【数8】

$$G_2(\lambda) = \exp\left(\frac{g_R}{A_{eff2}}\right) (\lambda) \cdot L_{eff2} \cdot P_{pump2} \quad \dots(8a)$$

$$L_{eff2} = \frac{1 - \exp(-\alpha_{pump2} \cdot L)}{\alpha_{pump2}} \quad \dots(8b)$$

なる式で表される。

【0023】光スペクトラムアナライザ50により測定

下では、図2を参照しながら、被測定光ファイバ2へ入射する試験光の光密度 P_{in} の上限について説明する。図2は、被測定光ファイバ2の利得スペクトル $G_1(\lambda)$ 、および、被測定光ファイバ2へ入射した試験光の強度スペクトル $P_{in}(\lambda)$ などを示すグラフである。

【0020】被測定光ファイバ2のラマン利得係数を g_R とし、被測定光ファイバ2の実効断面積を A_{eff} とし、被測定光ファイバ2に供給される励起光の強度を P_{pump1} とし、励起光波長における被測定光ファイバ2の吸収損失を α_{pump1} とし、被測定光ファイバ2の長さを L とし、波長を λ で表す。このとき、被測定光ファイバ2のラマン利得スペクトル $G_1(\lambda)$ は、

【数5】

$$G_1(\lambda) = \exp\left(\frac{g_R}{A_{eff1}}\right) (\lambda) \cdot L_{eff1} \cdot P_{pump1} \quad \dots(5a)$$

$$L_{eff1} = \frac{1 - \exp(-\alpha_{pump1} \cdot L)}{\alpha_{pump1}} \quad \dots(5b)$$

なる式で表される。

【0021】すなわち、被測定光ファイバ2へ入射した試験光の強度スペクトル $P_{in}(\lambda)$ と、被測定光ファイバ2でラマン増幅された試験光の強度スペクトル $P_{out}(\lambda)$ との間には、

【数6】

$$P_{out}(\lambda) = G_1(\lambda) \cdot P_{in}(\lambda) \quad \dots(6)$$

なる関係式が成り立つ。被測定光ファイバ2でラマン増幅された波長範囲 $\lambda_1 \sim \lambda_2$ の試験光の全光パワー P_{total} は、

【数7】

される利得スペクトルは、被測定光ファイバ2の本来のラマン利得スペクトル $G_1(\lambda)$ に、被測定光ファイバ2でラマン増幅された試験光が新たな励起光となることに基づくラマン利得スペクトル $G_2(\lambda)$ が重畳されたものとなる。したがって、被測定光ファイバ2へ入射する試験光の光密度 P_{in} が大きすぎる場合には、被測定光ファイバ2でラマン増幅された試験光が新たな励起光となることに基づくラマン利得スペクトル $G_2(\lambda)$ の影響が無視し得なくなり、見かけ上のラマン利得スペクトル ($G_1(\lambda) + G_2(\lambda)$) が傾斜して、やはり、被測定光ファイバ2のラマン利得係数を精度よく測定することができない。なお、この傾斜をSRSチルトと呼ぶ。

【0024】そこで、被測定光ファイバ2でラマン増幅される試験光の波長範囲 $\lambda_1 \sim \lambda_2$ 内で、ラマン利得が等しくなる2つの波長 λ_A と波長 λ_B との間 (ただし、波長間隔 $\lambda_B - \lambda_A$ が20 nm以上30 nm以下であって最大

波長間隔のもの)での利得偏差を所定値 x 以下とすることで、すなわち、

【数9】

$$\frac{(G_1(\lambda_B) + G_2(\lambda_B)) - (G_1(\lambda_A) + G_2(\lambda_A))}{G_1(\lambda_{peak})} = \frac{\Delta G}{G_1(\lambda_{peak})} \leq x \quad \dots(9)$$

なる関係式が成り立つようにすることで、被測定光ファイバ2でラマン増幅された試験光が新たな励起光となることに基づくラマン利得スペクトル $G_2(\lambda)$ の影響を無視し得るようにする。ここで、 λ_{peak} は、被測定光ファイバ2の本来のラマン利得スペクトル $G_1(\lambda)$ におけるピーク波長であり、 $G_1(\lambda_{peak})$ は、そのピーク値である。また、 $G_1(\lambda_B) + G_2(\lambda_B)$ は波長 λ_B での見かけ上のラマン利得であり、 $G_1(\lambda_A) + G_2(\lambda_A)$ は波長 λ_A での見かけ上のラマン利得であり、 ΔG は両者の差を表している。

【0025】波長 λ_A での本来のラマン利得 $G_1(\lambda_A)$ と、波長 λ_B での本来のラマン利得 $G_1(\lambda_B)$ とは、互いに等しく、

【数10】

$$G_1(\lambda_B) - G_1(\lambda_A) = 0 \quad \dots(10)$$

なる関係式が成り立つので、上記(9)式は、

【数11】

$$\frac{G_2(\lambda_B) - G_2(\lambda_A)}{G_1(\lambda_{peak})} = \frac{\Delta G}{G_1(\lambda_{peak})} \leq x \quad \dots(11)$$

なる式で表される。

【0026】ここで、ラマン利得とラマン利得係数 g_R との間には、

【数12】

$$\text{ラマン利得[dB]} \propto g_R / A_{eff} [\text{真値}] \quad \dots(12)$$

なる関係があるので、上記(11)式は、

【数13】

$$\frac{10 \cdot \log[G_2(\lambda_B)] - 10 \cdot \log[G_2(\lambda_A)]}{10 \cdot \log[G_1(\lambda_{peak})]} = \frac{\left(\frac{g_R}{A_{eff}} \right)_2 (\lambda_B) - \left(\frac{g_R}{A_{eff}} \right)_2 (\lambda_A)}{\left(\frac{g_R}{A_{eff}} \right)_1 (\lambda_{peak})} \frac{L_{eff2} \cdot P_{pump2}}{L_{eff1} \cdot P_{pump1}} \leq x \quad \dots(13)$$

なる式で表される。

【0027】また、陸上に光ファイバ伝送路が敷設された光通信システムを想定した場合、30dB程度のラマン利得に対して、±1dB程度の利得偏差まで許容される。さらに、光スペクトラムアナライザ50によるスペクトル測定の際の誤差が、その1/2まで許容されるとする。このことから、利得偏差の上限値 x は、

【数14】

$$x = \frac{1}{30} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{60} = 1.7\% \quad \dots(14)$$

式で表され、1.7%以下となる。このように、 $\Delta G / G_1(\lambda_{peak})$ の値を1.7%以下という条件を満たすようにすれば、被測定光ファイバ2へ入射する試験光の光密度 P_{in} が大きすぎることはなく、被測定光ファイバ2でラマン増幅された試験光が新たな励起光となることに基づくラマン利得スペクトル $G_2(\lambda)$ の影響を小さくすることができるので、被測定光ファイバ2のラマン利得係数を精度よく測定することができる。

【0028】なお、被測定光ファイバ2でラマン増幅された試験光の全光パワー P_{pump2} は、被測定光ファイバ2に供給される励起光の強度 P_{pump1} を変数とする関数として記述され得る。しかし、 g_R / A_{eff} および L_{eff} それぞれの値は被測定光ファイバ2の種類によって異なる

るので、被測定光ファイバ2の種類に応じて励起光強度および試験光強度それぞれは適切に設定される必要がある。そこで、以下に説明する実施例では、被測定光ファイバ2として4種類のものを取り上げて、各々の場合における試験光の光密度の好適範囲について説明する。各実施例では、ラマン散乱現象以外の非線形光学現象の発生を回避する為に、ラマン利得が3dB程度となるように励起光強度を設定した。

【0029】第1実施例では、被測定光ファイバ2として最も標準的なシングルモード光ファイバを用いた。シングルモード光ファイバは、コア領域とクラッド領域とを含む単純なステップインデックス型の屈折率プロファイルを有し、コア領域にGe元素が添加された石英系の光ファイバであって、波長1.3μm付近にゼロ分散波長を有し、波長1.55μmで波長分散が+17ps/nm/km程度である。シングルモード光ファイバの長さ L を20kmとし、シングルモード光ファイバに供給される励起光の強度 P_{pump1} を22dBmとした。

【0030】図3は、第1実施例におけるラマン利得スペクトルを示すグラフである。図4は、第1実施例における入力試験光の光密度 P_{in} とピーク利得 $G_1(\lambda_{peak})$ との関係を示すグラフである。図3では、入力試験光の光密度 P_{in} が-40dBm/nm、-35dBm/nm

m, -30 dBm/nm および -5 dBm/nm それぞれの値である場合についてラマン利得スペクトルが示されている。図4から判るように、入力試験光の光密度 P_{in} が -25 dBm/nm 以下であれば、発生した自然放出光が雑音となって、ピーク利得が過大評価されて、ラマン利得係数を精度よく測定することができない。また、入力試験光の光密度 P_{in} が -12.5 dBm/nm 以上であれば、SRSチルトの影響に因り、ラマン利得スペクトルが歪んで、やはり、ラマン利得係数を精度よく測定することができない。これに対して、入力試験光の光密度 P_{in} が -25 dBm/nm 以上で -12.5 dBm/nm 以下であれば、シングルモード光ファイバのラマン利得係数を精度よく測定することができる。

【0031】第2実施例では、被測定光ファイバ2として純石英コア光ファイバを用いた。純石英コア光ファイバは、コア領域とクラッド領域とを含む単純なステップインデックス型の屈折率プロファイルを有し、コア領域が純石英ガラスでありクラッド領域にF元素が添加された石英系の光ファイバであって、波長 $1.3 \mu\text{m}$ 付近にゼロ分散波長を有し、波長 $1.55 \mu\text{m}$ で波長分散が $+20 \text{ ps/nm/km}$ 程度である。純石英コア光ファイバは、シングルモード光ファイバと比較してラマン利得係数 g_R が小さい。純石英コア光ファイバの長さ L を 35 km とし、純石英コア光ファイバに供給される励起光の強度 P_{pump1} を 22 dBm とした。

【0032】図5は、第2実施例におけるラマン利得スペクトルを示すグラフである。図6は、第2実施例における入力試験光の光密度 P_{in} とピーク利得 $G_l(\lambda_{peak})$ との関係を示すグラフである。図5では、入力試験光の光密度 P_{in} が -40 dBm/nm , -35 dBm/nm , -30 dBm/nm および -5 dBm/nm それぞれの値である場合についてラマン利得スペクトルが示されている。図6から判るように、入力試験光の光密度 P_{in} が -25 dBm/nm 以下であれば、発生した自然放出光が雑音となって、ピーク利得が過大評価されて、ラマン利得係数を精度よく測定することができない。また、入力試験光の光密度 P_{in} が -15 dBm/nm 以上であれば、SRSチルトの影響に因り、ラマン利得スペクトルが歪んで、やはり、ラマン利得係数を精度よく測定することができない。これに対して、入力試験光の光密度 P_{in} が -25 dBm/nm 以上で -15 dBm/nm 以下であれば、純石英コア光ファイバのラマン利得係数を精度よく測定することができる。

【0033】第3実施例では、被測定光ファイバ2として分散補償光ファイバを用いた。分散補償光ファイバは、波長 $1.55 \mu\text{m}$ で波長分散が負であり、その波長分散の絶対値が数十 ps/nm/km であって、シングルモード光ファイバと比較してラマン利得係数 g_R が大きいものである。分散補償光ファイバの長さ L を 20 km とし、分散補償光ファイバに供給される励起光の強度

P_{pump1} を 16 dBm とした。

【0034】図7は、第3実施例におけるラマン利得スペクトルを示すグラフである。図8は、第3実施例における入力試験光の光密度 P_{in} とピーク利得 $G_l(\lambda_{peak})$ との関係を示すグラフである。図7では、入力試験光の光密度 P_{in} が -40 dBm/nm , -35 dBm/nm , -30 dBm/nm および -15 dBm/nm それぞれの値である場合についてラマン利得スペクトルが示されている。図8から判るように、入力試験光の光密度 P_{in} が -25 dBm/nm 以下であれば、発生した自然放出光が雑音となって、ピーク利得が過大評価されて、ラマン利得係数を精度よく測定することができない。また、入力試験光の光密度 P_{in} が -18 dBm/nm 以上であれば、SRSチルトの影響に因り、ラマン利得スペクトルが歪んで、やはり、ラマン利得係数を精度よく測定することができない。これに対して、入力試験光の光密度 P_{in} が -25 dBm/nm 以上で -18 dBm/nm 以下であれば、分散補償光ファイバのラマン利得係数を精度よく測定することができる。

【0035】第4実施例では、被測定光ファイバ2として高非線形性光ファイバを用いた。高非線形性光ファイバは、非線形性が大きく、分散補償光ファイバと比較してもラマン利得係数 g_R が大きいものである。高非線形性光ファイバの長さ L を 5.08 km とし、高非線形性光ファイバに供給される励起光の強度 P_{pump1} を 16 dBm とした。

【0036】図9は、第4実施例におけるラマン利得スペクトルを示すグラフである。図10は、第4実施例における入力試験光の光密度 P_{in} とピーク利得 $G_l(\lambda_{peak})$ との関係を示すグラフである。図9では、入力試験光の光密度 P_{in} が -40 dBm/nm , -35 dBm/nm , -30 dBm/nm および -10 dBm/nm それぞれの値である場合についてラマン利得スペクトルが示されている。図10から判るように、入力試験光の光密度 P_{in} が -25 dBm/nm 以下であれば、発生した自然放出光が雑音となって、ピーク利得が過大評価されて、ラマン利得係数を精度よく測定することができない。また、入力試験光の光密度 P_{in} が -24.5 dBm/nm 以上であれば、SRSチルトの影響に因り、ラマン利得スペクトルが歪んで、やはり、ラマン利得係数を精度よく測定することができない。これに対して、入力試験光の光密度 P_{in} が -25 dBm/nm 以上で -24.5 dBm/nm 以下であれば、高非線形性光ファイバのラマン利得係数を精度よく測定することができる。

【0037】

【発明の効果】以上、詳細に説明したとおり、本発明に係るラマン利得係数測定方法は、ラマン増幅されるべき試験光を被測定光ファイバへ入射させて被測定光ファイバのラマン利得係数を測定する方法であって、(a) 被測

定光ファイバの雑音指数を NF_{net} とし、測定周波数を ν とし、測定分解能を $\Delta\nu$ とし、プランク定数を h としたときに、被測定光ファイバへ入射する試験光の光密度 P_{in} について $P_{in} > 100 \cdot NF_{net} \cdot h \cdot \nu \cdot \Delta\nu$ なる条件を満たすようにし、(b) 被測定光ファイバのラマン利得のピーク値を G_{peak} とし、ラマン利得が等しくなる2波長（ただし、波長間隔が20 nm以上30 nm以下であって最大波長間隔のもの）の間における被測定光ファイバのラマン利得の偏差を ΔG としたときに、 $\Delta G / G_{peak} < 1.7\%$ なる条件を満たすようにして、被測定光ファイバのラマン利得係数を測定する。このように、上記(a)の条件を満たすことにより、被測定光ファイバで発生した自然放出光が雑音となることはなく、また、上記(b)の条件を満たすことにより、被測定光ファイバでラマン増幅された試験光が新たな励起光となることに基づくラマン利得スペクトルの影響を小さくすることができるので、被測定光ファイバのラマン利得係数を精度よく測定することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本実施形態に係るラマン利得係数測定方法が好適に適用されるラマン利得係数測定システムの構成図である。

【図2】 被測定光ファイバの利得スペクトル $G_1(\lambda)$ 、および、被測定光ファイバへ入射した試験光の強度スペ

クトル $P_{in}(\lambda)$ などを示すグラフである。

【図3】 第1実施例におけるラマン利得スペクトルを示すグラフである。

【図4】 第1実施例における入力試験光の光密度 P_{in} とピーク利得 $G_1(\lambda_{peak})$ との関係を示すグラフである。

【図5】 第2実施例におけるラマン利得スペクトルを示すグラフである。

【図6】 第2実施例における入力試験光の光密度 P_{in} とピーク利得 $G_1(\lambda_{peak})$ との関係を示すグラフである。

【図7】 第3実施例におけるラマン利得スペクトルを示すグラフである。

【図8】 第3実施例における入力試験光の光密度 P_{in} とピーク利得 $G_1(\lambda_{peak})$ との関係を示すグラフである。

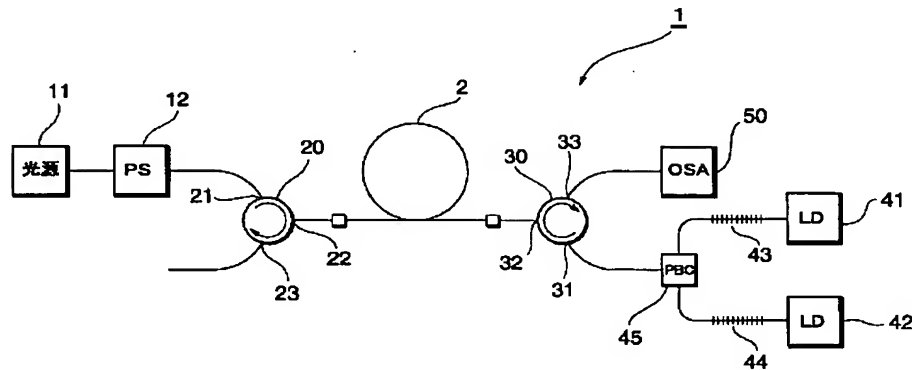
【図9】 第4実施例におけるラマン利得スペクトルを示すグラフである。

【図10】 第4実施例における入力試験光の光密度 P_{in} とピーク利得 $G_1(\lambda_{peak})$ との関係を示すグラフである。

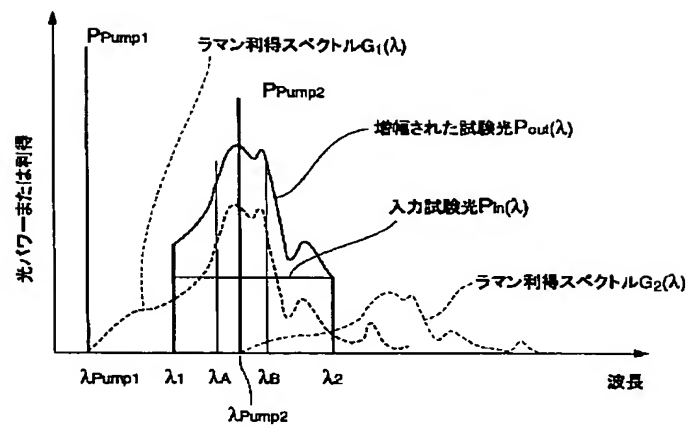
【符号の説明】

1…ラマン利得係数測定システム、2…被測定光ファイバ、11…白色光源、12…偏波スクランブラ、20、30…光サーキュレータ、41、42…レーザダイオード、43、44…ブラッグ型回折格子、45…偏波合成器、50…光スペクトラムアナライザ。

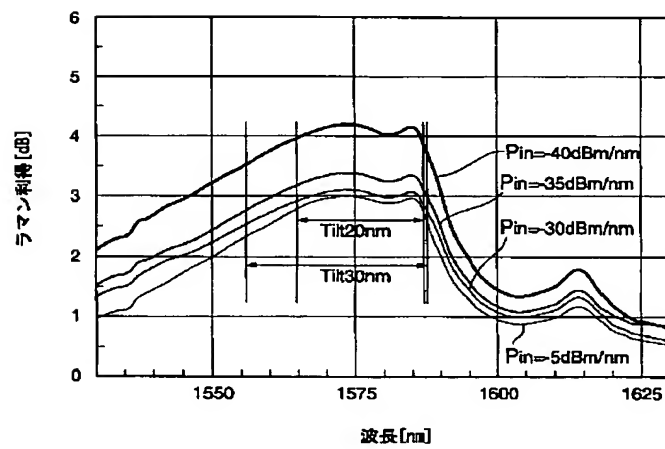
【図1】



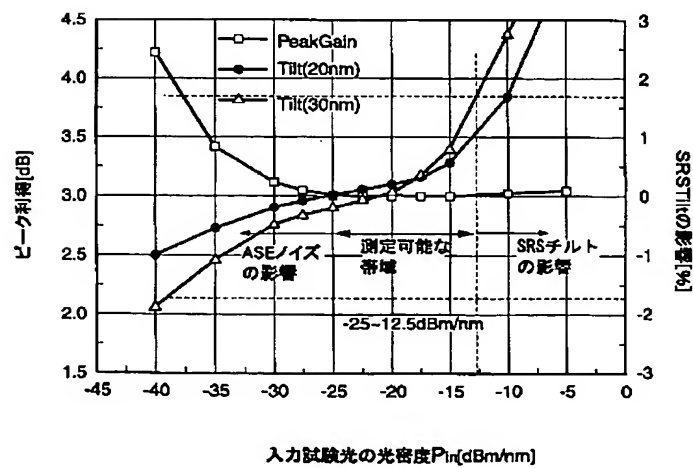
【図 2】



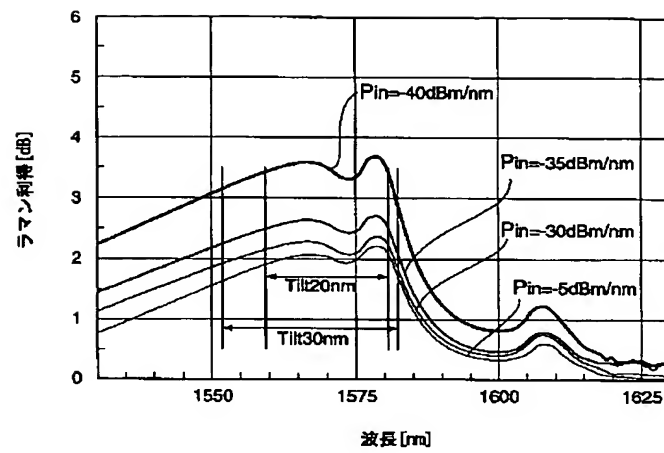
【図 3】



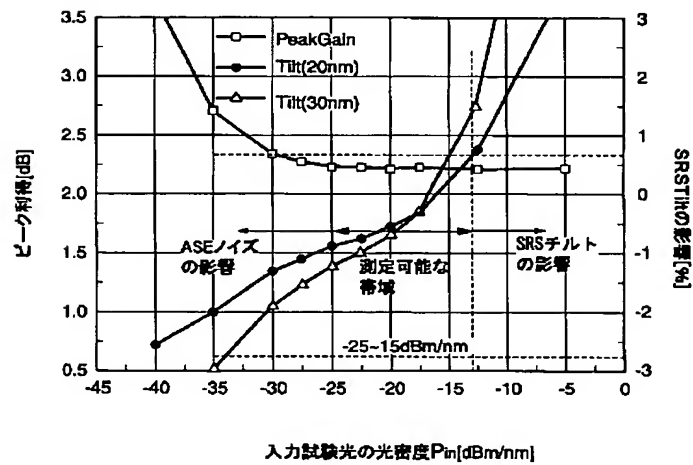
【図 4】



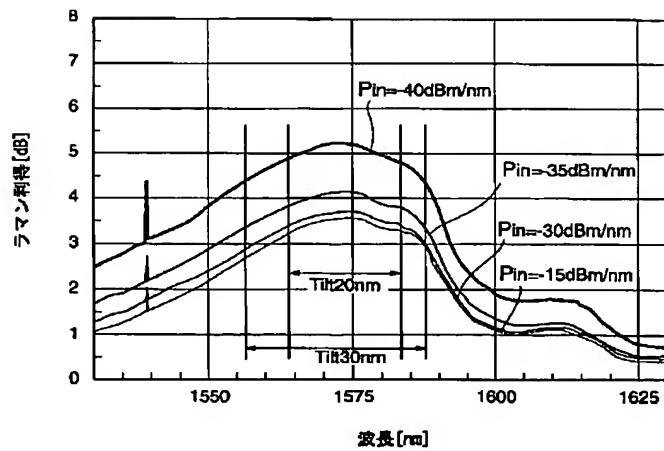
【図5】



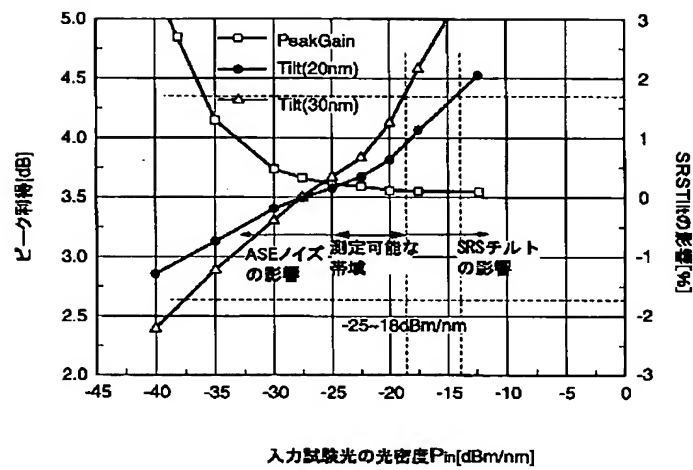
【図6】



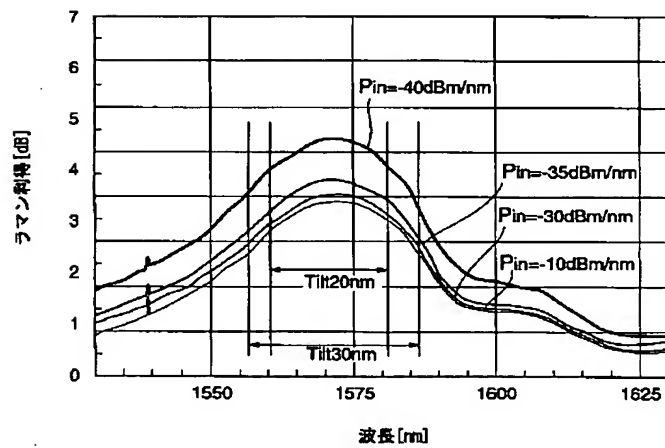
【図7】



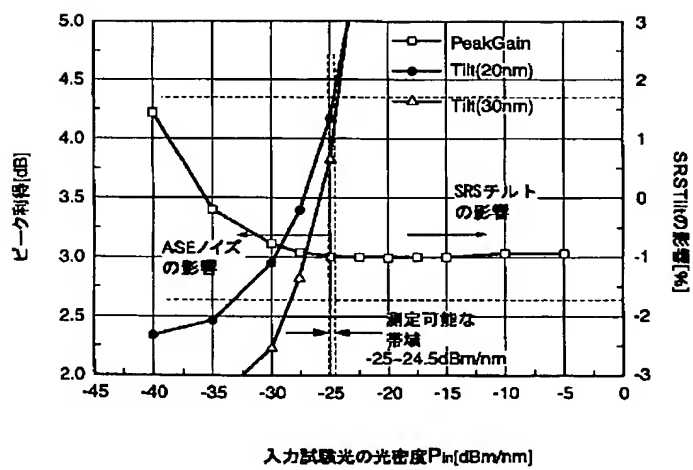
【図8】



【図9】



【図10】



(19) Japanese Patent Office (JP)
(12) Patent Application Laid-Open Publication (A)
(11) Patent Application Laid-Open No. 2002-20224 (P2002-202224A)
(43) Date of publication: July 19, 2002

(51) Int. Cl.⁷: G01M 11/02; G02F 1/35
(21) Application No. 2001-623 (P2001-623)
(22) Filed Jan. 5, 2001
(71) Applicant: 000002130

Sumitomo Electric Industries, Ltd.
5-33, Kitahama 4-chome, Chuo-ku, Osaka-shi, Osaka,
JP

(72) Inventor: Toshiyuki Miyamoto
c/o Sumitomo Electric Industries, Ltd. Yokohama
factory, 1 tayacho, sakae-ku, Yokohama-shi,
Kanagawa-ken, JP

(72) Inventor: Mototaka Kadoi
c/o Sumitomo Electric Industries, Ltd. Yokohama
factory, 1 tayacho, sakae-ku, Yokohama-shi,
Kanagawa-ken, JP

(74) Patent Attorney: 100088155
Yoshiki Hasegawa et al.

(54)[Title of the Invention] A MEASURING METHOD FOR RAMAN GAIN
COEFFICIENT

(57)[Abstract]

[A subject] A subject of this invention is to provide a Raman gain
coefficient measuring method for accurately measuring a Raman gain
coefficient of an optical fiber.

[Solving means] This Raman gain coefficient method measures a Raman
gain coefficient of an optical fiber 2 on condition that an optical
intensity P_{in} of a test light input the optical fiber 2 meets a
precondition of $P_{in} > 100 \cdot NF_{net} \cdot h \cdot \nu \cdot \Delta \nu$ where a noise index of the optical

fiber 2 is expressed as NF_{net} , a measuring frequency of an optical spectrum analyzer 50 as ν , a measuring resolution as $\Delta\nu$, and a Planck's constant is h , and that a precondition of $\Delta G/G_{\text{peak}} < 1.7\%$ is satisfied where a peak value of the Raman gain of the optical fiber 2 is expressed as G_{peak} and a deviation of the Raman gain of the optical fiber 2 between two wavelengths (a wavelength interval between the two wavelengths should be the maximum wavelength interval being no less than 20 nm and no more than 30 nm) having the same Raman gain is expressed as ΔG .